

논문 2011-2-19

멀티 프로토콜 레벨 스위칭망에서 DiffServ와의 서비스 결합을 위한 PHB 매핑모델 설계

A Design of The PHB Mapping Model for Combining Services with DiffServ in The MPLS Network

문석환*, 이성화**

Suk-Hwan Moon, Sung-hwa Lee

요 약 본 논문에서는 고속 스위칭이 가능한 멀티 프로토콜 레벨 스위칭망에서의 DiffServ와의 서비스 결합을 위한 PHB 매핑모델을 제안 하였고, 제안된 매핑모델을 기반으로 멀티 프로토콜 레벨 스위칭망에서 대역폭을 보장하는 차등화 서비스 모델을 설계하였다. EF, BE, AF1, AF2 트래픽을 적용하여 9초 동안의 Throughput에 대한 시뮬레이션 결과, 전체 발생된 트래픽은 2.45Mbps로 링크의 수용가능 속도인 1.5Mbps의 60%를 초과한 트래픽을 발생시켰다. AF1과 AF2는 trTCM의 PIR 값인 700Kbps 및 600Kbps로 설정되어있어 링크에서의 포화 상태의 흐름을 확인 미터링을 수행하고 trTCM을 이용하여 마킹을 적용한 후 전송률을 PIR에 적용되어 전송됨을 확인할 수 있으며, Priority의 우선순위가 BE보다 높으므로 우선적으로 전송됨을 확인할 수 있었다. BE인 경우 우선순위가 AF1, AF2보다 낮아 링크에서의 포화 상태 발생시 기아문제가 발생됨을 알 수 있다. EF, BE, AF1, AF2 동시 전송시 BE의 트래픽 전송은 거의 기아상태에 있음을 확인할 수 있었다. AF1 폐기율과 AF2 폐기율의 경우 AF1은 trTCM의 PIR, CIR 값이 AF2 높으며 우선순위도 높아 AF2보다 패킷 폐기율이 낮다. 그러나 BE는 링크에서의 병목현상이 발생 시 AF1, AF2에 의한 네트워크 자원의 우선으로 패킷에 대한 전송이 전혀 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

Abstract This study proposed the PHB mapping model for combining services with DiffServ in the MPLS network capable of high-speed switching, and the effective differential bandwidth service model in the MPLS network on the basis of the proposed mapping model. The result of simulation on the service model using PRI showed that the transmission rate was achieved as much as the assigned bandwidth regardless of the increase of traffic as far as the EF PHB did not exceed the assigned bandwidth at the peak rate when the overall traffic increased.

Key Words : MPLS WG(Multi Protocol Label Switching), DiffServ(Differentiated Service), PHB(Per Hop Behavior), PSC(PHB Scheduling Class)

I. 서 론

현재의 인터넷망은 IP 트래픽의 양적 증가와 인터넷 방송, Video Conference, VoIP등과 같은 실시간 서비스

및 멀티미디어 응용 프로그램 개발로 라우터와 망 요소들에 많은 부담을 받고 있다. 또한, 모든 패킷을 동일하게 전달하는 BE(Best Effort) 서비스만을 제공하고 있기 때문에 사용자 트래픽에 따른 QoS를 보장해 주지 못하고 있다. 따라서 인터넷에서 사용자 트래픽에 대한 QoS를 보장해 주기 위해서는 현재의 모델과는 다른 새로운 모델을 필요로 한다. MPLS는 라우팅에서의 문제점을 해결

*정회원, 제주한라대학 컴퓨터멀티미디어과

**중신회원, 제주한라대학 정보통신과

접수일자: 2011.1.11, 수정일자: 2011.3.21

게재확정일자: 2011.4.15

하기 위해 레이블이란 개념을 사용하며, MPLS의 레이블은 라우터에서 해당 스트림에 대응하는 다음 홉을 찾기 위한 색인으로 사용한다. 패킷이 망에 들어올 때 단 한 번의 IP 헤더 검사만하고 다음 홉은 레이블 교환 방식으로 패킷을 포워딩할 수 있기 때문에 고속의 트래픽 스위칭이 가능하다. 그러나 MPLS 프로토콜은 현재의 인터넷의 서비스인 BE형 서비스 위주의 연동만을 집중 고려하고 있어 앞서의 다양한 인터넷 트래픽에 대한 QoS를 수용하기에는 근본적인 해결책을 제시하지 못하고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 이와 같은 인터넷망에서의 문제점을 인식하고 MPLS망에서 대역폭을 보장하는 차등화 서비스 모델을 설계하였다. 이를 위해 MPLS의 기본적인 특성 및 인터넷망에서의 QoS 제공 모델인 DiffServ의 동작 특성을 확인하였다. 이와 같은 분석을 바탕으로 MPLS망에서 라우터의 차등화 서비스 지원을 위해 PHB가 실행되도록 하였으며, DiffServ를 이용한 사용자 트래픽의 클래스화 기술 및 PHB(Per Hop Behavior) 수용 방안을 분석하고, 이와 같은 분석을 바탕으로 MPLS망에서 라우터의 차등화 서비스 지원을 위해 PHB가 실행되도록 하였으며, DSCP(Differentiated Service Code Point)와 PHB를 매핑하는 것과 마찬가지로 RFC3270에서 제시된 E-LSP(EXP Inferred PSC LSP)를 이용하여 PHB를 MPLS 망에 수용 및 적용되도록 제안하였다.^{[1][2][3]}

II. 본문

1. MPLS

MPLS를 사용하게 되면 기존의 데이터그램 라우팅 네트워크에 비해 간단한 포워딩, Traffic Engineering, IP 패킷의 FEC(Forwarding Equivalence Class)대응의 단순화 등의 장점을 취할 수 있다. 또한 향상된 라우팅 확장성, 쉬운 관리, 규모가 큰 네트워크에서의 라우팅 문제점 제거 등의 장점이 있다. MPLS는 네트워크 계층의 라우팅의 정보를 데이터 계층의 레이블 정보와 매핑하여 스와핑/포워딩기능으로 Layer 3 계층 라우팅에서의 스위칭보다 고속의 단순한 레이블 스위칭이 가능하다.

MPLS에서 IP 패킷은 첫 번째 MPLS 라우터에 의하여 IP 패킷 헤더를 분석한 결과에 따라 레이블로 Encapsulation되고 이후의 모든 MPLS 중간 노드에서는

레이블을 이용하여 패킷에 대한 포워딩을 결정한다. 마지막으로 MPLS망을 떠날 때에는 마지막 라우터에서 레이블이 제거되어 IP 패킷이 포워딩 된다.

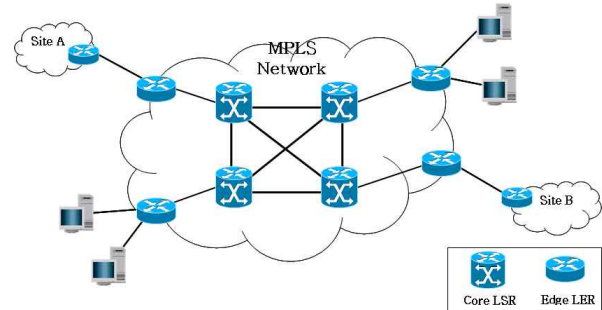


그림 1. MPLS 네트워크 구성
Fig. 1. Architecture of MPLS Network

MPLS 도메인 내에서 각 노드들은 OSPF(Open Shortest Path First)나 BGP(Border Gateway Protocol)를 이용 LER과 LSR은 라우팅 테이블을 유지하고 있다. 전기통신망에서의 시그널링과 유사한 역할을 하는 LDP(Label Distribution Protocol)는 도메인 내 인접 라우터 간에 레이블을 설정하기 위한 정보를 주고받는다. 즉, 스트림과 레이블 간 매핑 정보를 인접된 라우터 간에 공유하는데 이용된다.^{[4][5]}

2. DiffServ

DiffServ 모델은 흐름 단위로 QoS를 보장하지 않고 흐름들의 집합(Aggregation)을 기본단위로 서비스를 차별화함으로써 훨씬 간단하다. 따라서 대규모 망에서도 적용 가능한 모델이다.^{[6][7]}

DiffServ 제공 능력을 갖는 DiffServ망은 여러 ISP망으로 구성될 수 있다.

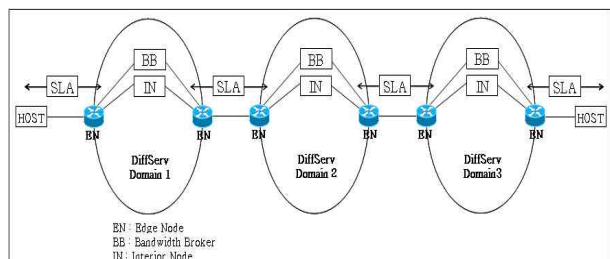


그림 2. DiffServ망의 구조
Fig. 2. Structure of DiffServ Network

DiffServ 구조는 여러 ISP에 걸친 양종단간 서비스(Inter-domain Service)와 하나의 ISP 망에서 시작되고 끝나는 서비스(Intra-domain Service)의 두 형태를 지원한다. 따라서 일반 개인 뿐 아니라 ISP 망 자체가 DiffServ망의 사용자가 될 수 있다. DiffServ 망의 사용자는 먼저 DiffServ 망의 관리자와 서비스 사용을 위한 협약이 이루어진다. 이것을 SLA(Service Level Agreement) 이라하며 쌍방간에 합의된 내용이어야 한다. DiffServ망의 사용자는 이러한 SLA에 의해서 DiffServ망을 통해 전달하고자 하는 패킷 흐름의 집합체를 정의하게 된다.

III. 차등화된 대역폭 서비스 모델 설계

MPLS은 인터넷에서의 연결형 중계망 구성에 가장 적합한 기술이므로 차등화 서비스 지원이 가능한 DiffServ를 결합하여, 사용자에게 대한 트래픽을 클래스로 구분한 후 버퍼 및 스케줄관리를 통한 한정된 네트워크 자원에 대한 차등화 서비스를 제공할 수 있다.

MPLS망에서 대역폭을 보장하는 차등화 서비스 모델의 설계 위해 트래픽의 특성을 분석하고, 이에 부합하는 서비스 모델의 설계를 위해 세부적인 적용 알고리즘을 분석하였다. 또한 DiffServ와 MPLS의 매핑을 위한 모델을 제안하였고, 이를 근간으로 차등화 서비스 모델을 설계하였다.

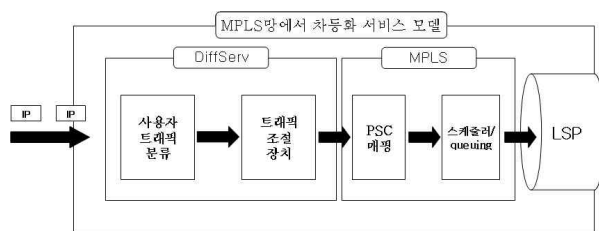


그림 3. MPLS망에서의 차등화 서비스 모델
Fig. 3. Differentiated Service Model in the MPLS Network

본 연구에서는 MPLS망에서 클래스된 트래픽을 MPLS LSP에 매핑시키는 방법으로 다수의 클래스 트래픽을 하나의 LSP에 다중화 시켜 전송하는 E-LSP방법을 사용하였다. E-LSP는 사용자로부터의 다양한 서비스 별 패킷 흐름을 3 ~ 8가지 정도의 클래스들로 구분하고, 이들에 대한 트래픽 파라미터와 QoS 파라미터에 따라 관

리하며, 하나의 사용자 또는 사용자 군으로부터의 통합 트래픽을 사전에 지정한 관리 방식에 따라 패킷 스케줄링 기능을 제공함으로써 차등화 서비스를 하게 된다. DiffServ 기능을 지원하는 MPLS 라우터에서는 각 클래스별로 개별적인 패킷 조정기능과 큐잉기능을 지정하며, DiffServ 패킷 스케줄러에서 각 클래스에 지정된 우선순위 또는 가중치에 따라 전송 대역폭을 할당 하도록 한다.

차등화 서비스 망에서 DSCP와 PHB를 매핑하는 것과 마찬가지로 PHB를 MPLS 망에 수용하는 방법으로는 RFC3270에 의한 E-LSP가 있으나, MPLS Shim 헤더의 DiffServ PHB에 대한 EXP 필드는 정의 되어 있지 않으며, PHB를 EXP 필드에 매핑 하는 것은 서비스 제공자에 의해 정의되는 지역 정책에 의존적인 부분이 크다.

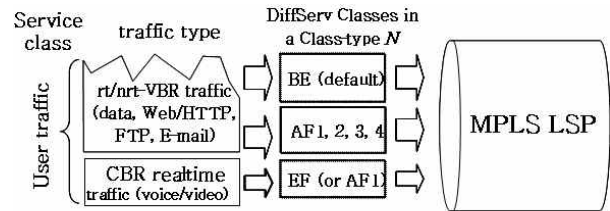


그림 4. E-LSP 구조
Fig. 4. Structure of E-LSP

그러나 ISP사업자의 이와 같은 PHB를 EXP 필드에 매핑하는데 있어 필요한 기본적인 요구사항 및 차등화 서비스를 위하여 다음과 같은 사용자 트래픽에 대한 DSCP, PHB 및 EXP 필드 값을 정의하고, PHB와 LSP와의 클래스별 매핑모델을 제안한다. 또한 제안된 매핑에 따라 트래픽의 대역폭 보장을 할 수 있도록 서비스 모델을 설계한다.

표 1. PSC 매핑
Table 1. PSC Mapping

DiffServ	DSCP	MPLS(EXP)
EF(Expedited Forwarding)	101110	110
AF1(Assured Forwarding)	AF11	001010
	AF12	001100
	AF13	001110
AF2(Assured Forwarding)	AF21	010010
	AF22	010100
	AF23	010110
Best Effort	000000	000

표 1은 사용자 트래픽의 정의에 따른 차등화 서비스를 위해서 MPLS망에서 DSCP와 PHB, EXP 값을 각각 정의한 것이다.

IV. 실험 및 결과

본 연구에서 사용한 ns-2 시뮬레이터는 네트워크 프로토콜, TCP나 UDP관련 시뮬레이션과 라우터의 큐잉 및 스케줄링 시뮬레이션에 상당히 정확한 결과를 산출하는 시뮬레이터로 알려져 있다.^[8]

제안된 서비스 모델들에 대한 성능 결과를 객관화하기 위하여 동일한 환경에서 시뮬레이션을 수행하였고, MPLS망에서의 대역폭 보장을 측정하기 위해 각각의 트래픽에 대한 망에서의 Throughput 및 패킷에러를 측정하였다. 시뮬레이션에 사용된 다섯 개의 요소는 소스 호스트(src), 목적지 호스트(dst), Link, LER, LSR 이며, 소스 호스트는 송신측의 데이터 소스이고 목적지 호스트는 트래픽의 목적지 역할을 수행하였다. Link는 단방향으로 구성하며 LER은 DiffServ의 도메인 및 MPLS 도메인의 경계 라우터로서의 역할을 수행하고, DiffServ는 도메인 내부로의 트래픽을 서비스 종류별, 패킷 유형별 차별화 처리 기능을 담당하였다.

DSCP로 클래스화된 IP 패킷은 다시 MPLS 기반의 매핑을 통하여 차등화 서비스를 보장 받도록 하며 LSP로 목적지까지 고속으로 전송 될 수 있도록 하였다. LSR 라우터에서의 분류된 사용자 트래픽에 대하여 고속의 스위칭이 이루어지도록 하였다.

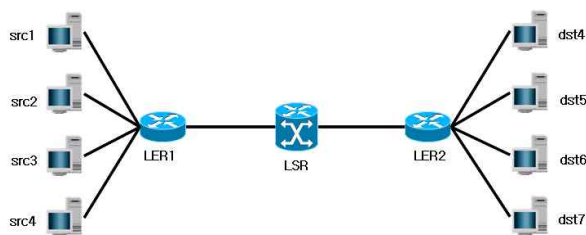


그림 5. 시뮬레이션 네트워크 구성도
Fig. 5. Network structure for simulation

4개의 소스 호스트는 도메인의 경계라우터인 Ingress LER1에 링크 시키고 LER1은 도메인 내에는 LSR과 링크 시켰다. 4개의 목적지 호스트는 Egress LER2에 링크 시키고 LER2는 도메인 내의 LSR과 링크 시켰다. 각각의

링크는 1.5Mbps의 대역폭을 갖고 1ms의 지연을 갖는다. 4개의 소스 호스트들은 서로 다른 4개의 목적지 호스트들과 연결되어 있으며 LER1과 코어 라우터 LSR과 사이에 있는 링크와 LSR과 LER2 사이의 링크를 공유한다. 각 소스 호스트인 src는 상대방 목적지 호스트인 dst와 커넥션을 갖는다.시뮬레이션을 위한 서비스 종류는 EF, AF1, AF2, BE로 정의하였다. BE PHB는 IP 헤더의 DSCP의 값이 "0"으로 채운다. 다른 PHB가 사용하고 남은 출력 링크 여유분을 차지하여 전송되며, 다른 PHB의 특성을 방해하는 기본적인 트래픽으로 사용하였다. EF PHB는 미터링과 마킹을 수행하는 모듈은 토큰 버킷으로 구현하였다. AFxy PHB는 미터링과 마킹을 위해 두 가지 제한 속도를 갖고 두 가지 버스트 크기를 갖는 모듈로 구성하였다. 이를 위해 trTCM의 구성하고 trTCM의 파라메타로 CIR(Committed Information Rate), PIR (Peak Information Rate)의 트래픽 속도를 지정하는 파라메타와 CBS(Committed Burst Size), PBS(Peak Burst Size)의 버스트 크기 파라미터를 이용하여 트래픽의 제어하였다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 값과 트래픽 소스는 다음 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터 값
Table 2. Values of Simulation Parameter

src -dst	Class type	Traffic Parameter [Kbps]	Traffic Conditioning	Scheduling	Generation Rates [Kbps]
0-4	EF	PIR:200	Token Bucket	Strict Priority	250
1-5	BE		"0" marking	Priority WRR	600
2-6	AF1	PIR:700 CIR:600	trTCM	Priority WRR	800
3-7	AF2	PIR:600 CIR:500	trTCM	Priority WRR	800

첫 번째 차등화 서비스 모델은 PSC 매핑정의에 따라 각각의 사용자 트래픽은 EF, BE, AF1, AF2 분류되고 클래스화 하고 이를 AF1, AF2, BE의 순으로 우선순위를 주어 Priority 스케줄러를 이용한 성능 평가를 수행하였다.

전송 시점은 0초에 동시에 발생되며 9초에 멈추게 하였으며, EF는 250 Kbps로 BE는 600Kbps로 AF1은 800Kbps, AF2은 800Kbps로 트래픽을 발생시켜다.

그림 6은 EF, BE, AF1, AF2 트래픽을 적용하여 9초 동안의 Throughput에 대한 시뮬레이션 결과 값을 보여

준다. 전체 발생된 트래픽은 2.45Mbps로 링크의 수용가능 속도인 1.5Mbps의 60%를 초과한 트래픽을 발생시켰다.

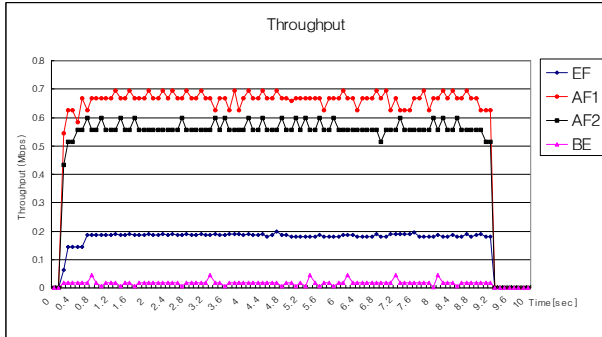


그림 6. EF-BE-AF1-AF2 시뮬레이션 결과
Fig 6. EF-BE-AF1-AF2 Simulation Throughput

AF1과 AF2는 trTCM의 PIR 값인 700Kbps 및 600Kbps로 설정되어 있어 링크에서의 포화 상태의 흐름을 확인 미터링을 수행하고 trTCM을 이용하여 마킹을 적용한 후 전송률을 PIR에 적용되어 전송됨을 확인 할 수 있으며 Priority의 우선순위가 BE보다 높으므로 우선적으로 전송됨을 확인 할 수 있다. BE인 경우 우선순위가 AF1, AF2보다 낮아 링크에서의 포화 상태 발생 시 기아문제(Starvation)가 발생됨을 알 수 있다.

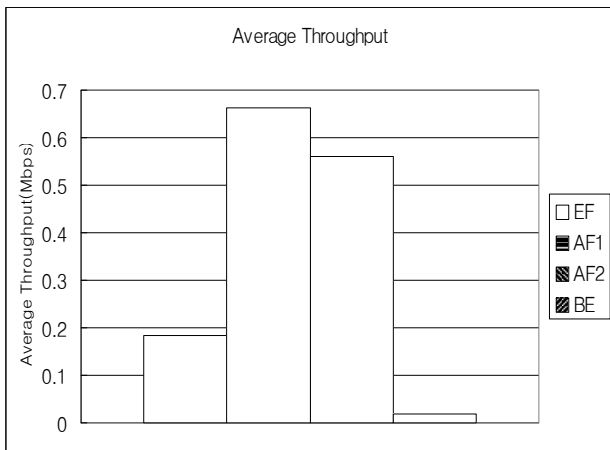


그림 7. EF-BE-AF1-AF2 평균 출력
Fig 7. EF-BE-AF1-AF2 Average Throughput

그림 7은 EF, BE, AF1, AF2 동시 전송 시 각각의 플로우에 대한 Average Throughput을 나타내며 그림7에서와 같이 BE의 트래픽 전송은 거의 기아상태에 있음을 확인 할 수 있다.

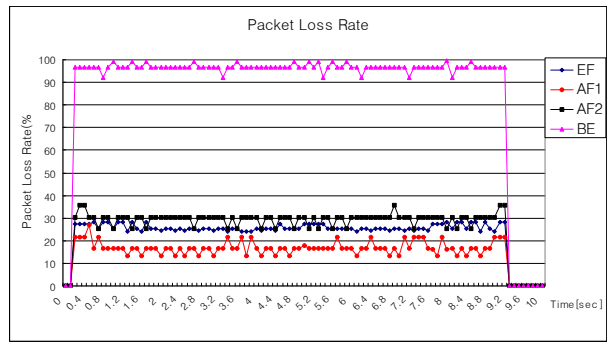


그림 8. EF-BE-AF1-AF2 패킷 폐기율
Fig 8. EF-BE-AF1-AF2 Packet Loss Rate

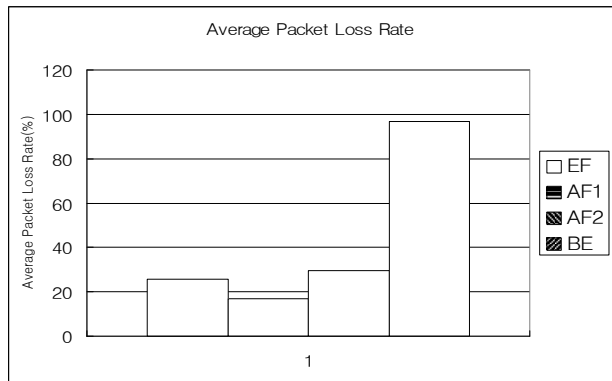


그림 9. EF-BE-AF1-AF2 평균 패킷 폐기율
Fig 9. EF-BE-AF1-AF2 Average Packet Loss Rate

그림 8, 9은 EF, BE, AF1, AF2 동시 전송 시 패킷 폐기율 및 평균 패킷 폐기율을 나타낸다. EF 트래픽은 링크에서 포화 상태가 발생되어도 계약된 전송속도는 계속적으로 유지 이외의 패킷은 폐기되므로 일정한 패킷 폐기율을 나타낸다.

AF1 폐기율과 AF2 폐기율의 경우 AF1은 trTCM의 PIR, CIR 값이 AF2 높으며 우선순위도 높아 AF2보다 패킷 폐기율이 낮다. 그러나 BE는 링크에서의 병목현상이 발생 시 AF1, AF2에 의한 네트워크 자원의 우선으로 패킷에 대한 전송이 전혀 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 MPLS망에서 대여폭을 보장하는 차등화 서비스 모델 설계를 위하여 MPLS망의 기본적인 특성에 대하여 설명하였으며, MPLS 망에서의 DiffServ의

기능 및 PHB 수용을 위한 방안을 분석하였다. 이를 바탕으로 고속 스위칭이 가능한 MPLS망에서의 DiffServ와의 서비스 결합을 위한 PHB와 PSC와의 매핑모델을 제안하였고, 제안된 매핑모델을 기반으로 MPLS망에서 대역폭을 보장하는 차등화 서비스 모델을 설계하였다. 매핑모델의 기술은 E-LSP 메커니즘으로 단일 LSP에 8개의 PHB를 매핑시켜 DiffServ를 지원하는 방법이다. 이 방법은 MPLS 헤더의 EXP 필드를 사용하므로 추가로 신호 처리 프로토콜이 필요 없고, 어떠한 레이블 분배 프로토콜과도 잘 어울리므로 망에서의 확장성을 보장 받을 수 있다. 또한, 차등적인 대역폭 보장을 위하여 각각 제안된 서비스 모델은 공통적으로 DiffServ의 기본기능인 트래픽의 Class, Metering과 Marking 및 Sharp와 Drop를 수행 하도록 하였고, Metering과 Marking을 위하여 트래픽 특성에 따라 Token bucket과 trTCM으로 설계하였다. 각각의 패킷 스케줄러는 Priority와 WRR로 설계하여 서비스 모델의 성능을 평가하였다. 서비스 모델의 성능평가를 위해 MPLS 도메인에서의 Edge LER는 DiffServ의 기능과 MPLS의 LER기능을 수행 하도록 구성 하였으며, Core LSR은 분류된 트래픽에 대하여 고속 전송이 이루어지도록 구성하였다.

이와 같은 특성을 갖는 제안된 서비스 모델의 성능평가는 EF와 BE PHB의 전송 및 EF, BE, AF 동시 전송에 의한 혼잡상황 발생 시 각기 다른 PHB의 대역폭 보장 성능을 관찰하였다.

시뮬레이션 결과는 PRI를 이용한 모델에서 전체적인 트래픽이 증가할 때 EF PHB는 Peak rate로 할당된 대역폭을 넘지 않는 한 트래픽의 증가와 관계없이 할당된 대역폭만큼의 전송률을 확인하였고, AF, BE PHB인 경우 혼잡상황이 발생되면 우선순위가 높은 AF PHB와 BE 순서로 전송되었다. 이 경우 우선순위가 낮은 BE는 전송 대역폭의 여유가 없는 경우 기아상태가 됨을 확인하였다. 이에 반해 WRR 스케줄러인 경우 EF PHB는 PRI와 같은 특성을 갖으며, AF PHB의 경우 네트워크 부하에 따라 전송률이 변화하며 잉여 대역폭이 존재할 경우 트래픽 조절기에서 제안한 특성에 따라 잉여 대역폭을 할당받음을 확인하였다. 또한, 혼잡상황이 발생되어도 BE PHB는 클래스별 가중치에 따라 전송률이 보장되어 PRI에서와 같은 기아상태를 방지할 수 있으며, 본 시뮬레이션에서는 PRI에 비해 55%의 대역폭이 보장됨을 확인하였다.

본 논문에서는 속도, 확장성, 서비스 제공 능력에 효율

적인 MPLS와 인터넷 망에서의 차등화 서비스를 제공하는 DiffServ의 기술적인 특성을 연구하였다. 이를 바탕으로 MPLS망에서 DiffServ의 매핑 모델과 대역폭 보장할 수 있는 서비스 모델을 제안 하였고, 다양한 시뮬레이션을 통하여 모델의 성능평가를 검증하였다. 제안된 모델의 대해서 좀 더 연구를 진행하여할 부분이 아직 상당 부분 존재하며 이와 같은 결과를 바탕으로 대단위 네트워크에서의 다양한 트래픽 및 환경을 적용하여 장시간의 성능 측정을 통한 검증이 필요하다. 또한 현존하는 VPN(Virtual Private Network)망에서의 사용자의 다양한 트래픽에 대한 QoS 및 보안을 지원하기 위한 MPLS 망에서의 적용 및 활용 방안에 대하여 폭넓은 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", RRFC 3031, January 2001.
- [2] Sean Harnedy, "The MPLS Primer," Prentice Hall, pp. 1-13, pp. 19-23, 2002.
- [3] G. Armitage, "MPLS : the magic behind the myths", IEEE Commun. Magazine, vol 38, pp. 124-131, Jan. 2000.
- [4] Uyless Black, "MPLS and Label Switching Networks", Prentice Hall, pp.1-42, pp. 163-187, 2001.
- [5] Y. Rekhter, "Carrying Label Information in BGP-4", RFC 3107, May. 2001.
- [6] Barden, R., Clark, D. and Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture : an Overview", RFC 1633, June. 1994.
- [7] S. Shenker, C. Partridge, R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service", RFC 2212, September. 1997.
- [8] UCB/LBNL/VINT, "Network Simulator NS (version 2)", <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>.

저자 소개

문 석 환(정회원)



- 1990년 인하대학교 화학공학과 학사 졸업.
- 1997년 제주대학교 정보공학과 석사 졸업.
- 2005년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사수료
- 2011년 현재 제주한라대학 컴퓨터멀

티미디어과 교수

<주관심분야 : RFID/USN, 융합형시스템, 영상처리>

이 성 화(종신회원)



- 1989년 건국대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1991년 건국대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1998년 건국대학교 대학원 전자공학과 박사학위
- 2011년 현재 제주한라대학 정보통신

과 교수

<주관심분야 : RFID/USN, 네트워크, 제어시스템>